

터널 갱구부 붕괴 사면의 안정성 해석 및 보강공법에 관한 연구
- 수안보 온천 1, 2터널 붕괴 현장을 중심으로

A Study on the Stability Analysis and Countermeasure of Tunnel
Portal Failure Slope

- in Suanbo Hot Springs 1 and 2 Tunnel Failure Site

백 용(Baek Yong)	한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원
구 호 본(Koo Ho-Bon)	한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원
유 기 정(Yoo Ki-Jeong)	한국건설기술연구원 토목연구부 연구원

요약 / ABSTRACT

최근 국도가 4차선 선형 개량화 되는 과정에서 일반국도 내 터널 수가 증대되고 있으며 터널 갱구부의 사면 붕괴도 적지 않게 보고 되고 있다. 운용중 터널 갱구부 사면 붕괴는 절토사면과는 달리 시공성 및 대책공법 선정의 한계성을 가지고 있다. 본 연구에서는 2002년 4월 발생한 수안보 온천 1, 2터널 붕괴 현장을 대상으로 정밀 현장조사를 실시, 안정성 해석에 따른 효율적인 보강공법에 대해 검토한 것이다. 연구방법으로는 붕괴 현장의 정밀 지질조사를 통하여 붕괴 원인 분석 및 지반강도정수 산정을 위하여 현장 조사 및 붕괴 현장에 대한 역해석을 실시 지반강도정수를 추정하였다. 암반사면의 안정성 해석을 위하여 불연속면의 영향을 고려하여 평사투영법을 실시하였으며, 안전율을 산정을 위하여 Tarlen을 이용한계평형해석을 실시하였다. 연구결과, 수안보 온천 1터널의 경우, 사면경사완화공법을 2터널의 경우는 3개의 영역으로 구분 콘크리트 버트리스 및 보강공법으로 록앵커 시공, 정착식 낙석방지망을 설치하는 방안이 제시되었다.

주요어 : 터널 갱구부 사면, 안정성 해석, 사면 안정화 대책공법, 사면경사완화공법, 보강공법

Recently, the number of tunnels on national roads has been increased due to the trend that construction of the large-scaled cut slopes is limited because of the environmental issues. Therefore, the slope failures of tunnel portal have often occurred. The tunnel portal in use has limitations on selection of the countermeasure and construction against slope failure. In the cases of Suanbo hot springs 1 and 2 tunnel portals, seedding was chosen and constructed as the countermeasure of slope failure when the tunnel was first built but collapsed in April, 2002. In this

study, the failure sites were examined accurately through the site investigation and an efficient countermeasure according to stability analysis is presented. It is shown that it is very efficient to use resloping for Suanbo hot springs 1 tunnel and concrete buttress, rock anchor to reinforcement countermeasure, and attached rockfall prevention net by dividing the site into 3 sections for Suanbo hot springs 2 tunnel.

Key Words : tunnel portal, slope stability analysis, slope countermeasure, resloping, reinforcement countermeasure

서 론

과거 산악지 국도는 지형 및 산세의 영향을 받으며 지형에 맞게 도로가 개설되었다. 최근에는 국도의 4차선화와 선형개량 등으로 인하여 대절개면의 형성, 산악지방의 터널 및 교량의 신설이 불가피하게 되었다(건설교통부, 1998). 이에 따라 대절개면 및 터널 갱구부의 사면 안전성도 많은 관심을 가지게 되었다. 특히, 터널 갱구부의 사면 붕괴는 도로이용자에게 큰 위협성을 내포하고 있으며, 소규모 낙석에 의하여도 대형 인명 및 물적 피해로 직결될 수 있기 때문에 지반 기술자의 관심이 더욱 집중되고 있다. 최근 터널 갱구부 사면에 대한 연구는 국내에서도 터널 설계와 병행하여 활발히 진행되고 있다(김정호, 2001, 한국지질자원연구원, 2001).

본 연구는 2002년 4월 붕괴가 발생한 터널 갱구부 사면현장을 대상으로 현장 조사 및 안정성 해석을 실시하고 대책방안을 강구한 현장의 사례에 대한 연구이다. 연구방법으로는 현장 조사 및 자료 수집에 의한 붕괴 규모 및 붕괴 형태를 파악하고 붕괴 원인을 규명한다. 또한 수집 및 현장조사 자료 분석을 통해 안정성 해석을 실시하고 터널 갱구부의 붕괴 사면에 대한 항구대책공법을 제안 하는데 그 목적이 있다.

개 요

터널 갱구부 사면 붕괴 현장이 소개하고 있는 행정위치는 충청남도 충주시 상모면 온천리에 해당된다. 붕괴 사면은 터널 갱구부에 해당되며, 수안보 온천터널은 수안보 온천 1터널과 2터널(이하 S-1지구, S-2지구로 함)로 2개의 연속터널로 구성되어 있다. 2002년 4월 30일 집중호우로 인하여

S-1지구와 S-2지구가 동시에 붕괴가 발생하여 현재 대책을 마련 중에 있다. S-1지구와 S-2지구는 충주에서 문경방향으로 연결하는 국도 3호선 왕복 4차로 구간의 충주 방향에 해당된다.

붕괴 현장 세부사항

S-1지구와 S-2지구의 갱구부 사면 붕괴 현황은 다음과 같다(Fig. 1).

Table 1. General information of slope transection in S-1area.

Area	Length	Height (ΔH:m)	Inclination (°)	Bell mouth	Composition rock
S-1	60m	32m	32~53	22m	slate



Fig. 1. A panoramic photograph of failure site in S-1 area.

S-1지구의 경우, 현장 규모는 Table 1과 같다. 사면의 방향은 52/350(dip/dip direction, 이하 표기법 동일), 붕괴 규모는 폭 20m, 높이 15m, 깊이

2.0m이며, 붕괴된 암피량은 약 600m³이다. 붕괴된 암피들의 규모는 평균 30cm×30cm×20cm(가로×세로×폭)이다. 특히, 집중호우가 발생한 시간과 사면 조사의 시간적인 차이가 있음에도 불구하고 사면 주변에 설치된 배수로에서 지표수 용출현상이 관찰되었다. 이로 미루어 과도한 지하수 및 지표수 발생이 붕괴에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. S-2지구의 경우, 동일한 집중호우기간에 사면의 붕괴가 발생하였다. 터널 직상부 일부 부분과 하부 일부 부분에서 붕괴가 발생하였으며 인장균열의 발달이 육안으로 인지 되는 등 추가 붕괴 발생의 위험성이 내재되어 있는 사면이다(Fig. 2). 사면 조사 및 대책을 원활히 수행하기 위하여 사면을 총 3개의 영역으로 구분하였으며 각각 2-A, 2-B, 2-C로 명명하였다.

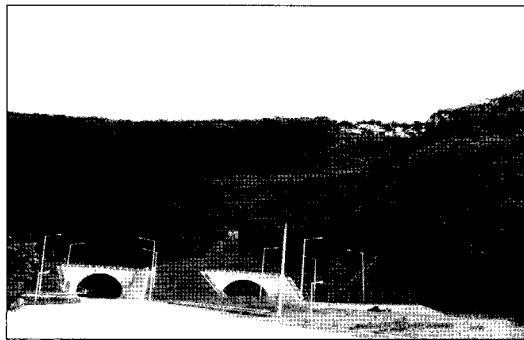


Fig. 2. A panoramic photograph of failure site in S-2 area.

Table 2. General information of slope transection in S-2 area.

Shape	road	1berm	2berm	3berm	4berm	5berm
	~ 1berm	~ 2berm	~ 3berm	~ 4berm	~ 5berm	~ top
Height(ΔH:m)	19.1	18.4	13.9	4.8	15	11
Slope inclination(°)	55	45	44	44	45	45
Berm wide (m)		1berm	2berm	3berm	4berm	5berm
		0.5	4	2	5	1
Remark				drainage geway	tension crack	

조사대상 사면의 횡단제원은 Table 2와 같다. 사면 형상은 터널 갱구부를 중심으로 M형으로 되어 있으며 총 연장 105m, 최대수직고 82.2m의 규모이다. 사면 경사는 평균 44° (1 : 1.0)~55° (1 : 0.7), 상부자연사면의 경사는 5~10°이며, 총 5소단으로 구성되어 있다. 사면의 구간별 안정성 판단을 위하여 충주에서 문경방향의 우측 절개면을 2-A영역, 정면의 제2소단 하부의 절개부를 2-B영역, 절개면의 최상단부(제 4소단~최정상부)를 2-C영역으로 구분하여 해석하였다(Fig. 2 참조).

Table 3. Aspect of slope failure in S-2 area.

Section	Zone (m)	Weathering level	Failure pattern	Failure section	Failure volume (m ³)	Prevention facilities
2-A	L=40 H=20	M.W ~S.W	planner failure small rockfall	L=20 H=10	30	rockfall prevention fence
2-B	L=40 H=60	H.W ~M.W	tension crack occurred	W=0.3 L=3	4places	vegetation
2-C	L=50 H=20	H.W ~C.W	small rockfall	L=15 H=10	50	coir net

2-A영역의 사면의 방향은 52/064이며 B와 C영역의 사면의 방향은 57/316이다. 각 사면조사구간에 대한 붕괴 양상 및 현황을 요약하면 Table 3과 같다.

를 측정하여 등밀도 그래프로 나타내면 주절리 방향은 85/342, 85/210, 89/342, 90/040, 80/300, 노출되어 있으며 암반의 불연속면에 대한 집중적인 조사가 수행되었다. 암반 내에 발달하는 절리 80/076, 40/036등이다(Fig. 4).

현장 조사

S-1지구 현장 조사

S-1지구의 경우, 문경에서 충주방향의 출구사면에 해당이 된다. 현재 녹생토가 시공되어 있으며 식생이 양호한 상태로 노출된 암반의 상태는 조사가 어려운 상황이다. 사면의 규모를 보면 길이 60m, 높이 31m의 소규모의 사면으로 구성암석은 점판암이다. 기반암의 풍화정도는 심한 풍화~완전 풍화(Highly weathered~Completely weathered)이나 전반적으로 완전 풍화에 가까운 양상이다. 현장 정밀조사에 의한 사면 현황도(face mapping)는 Fig. 3과 같다. 붕괴가 발생된 부분에는 기반암이

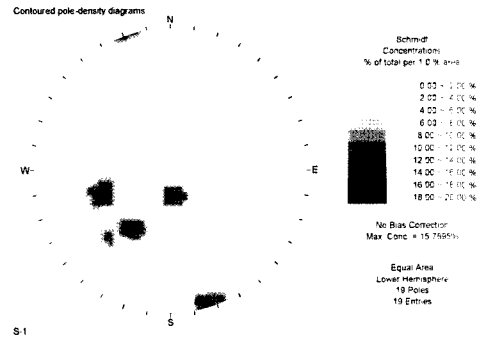


Fig. 4. The contoured pole-density diagram of discontinuity plane in S-1 domain

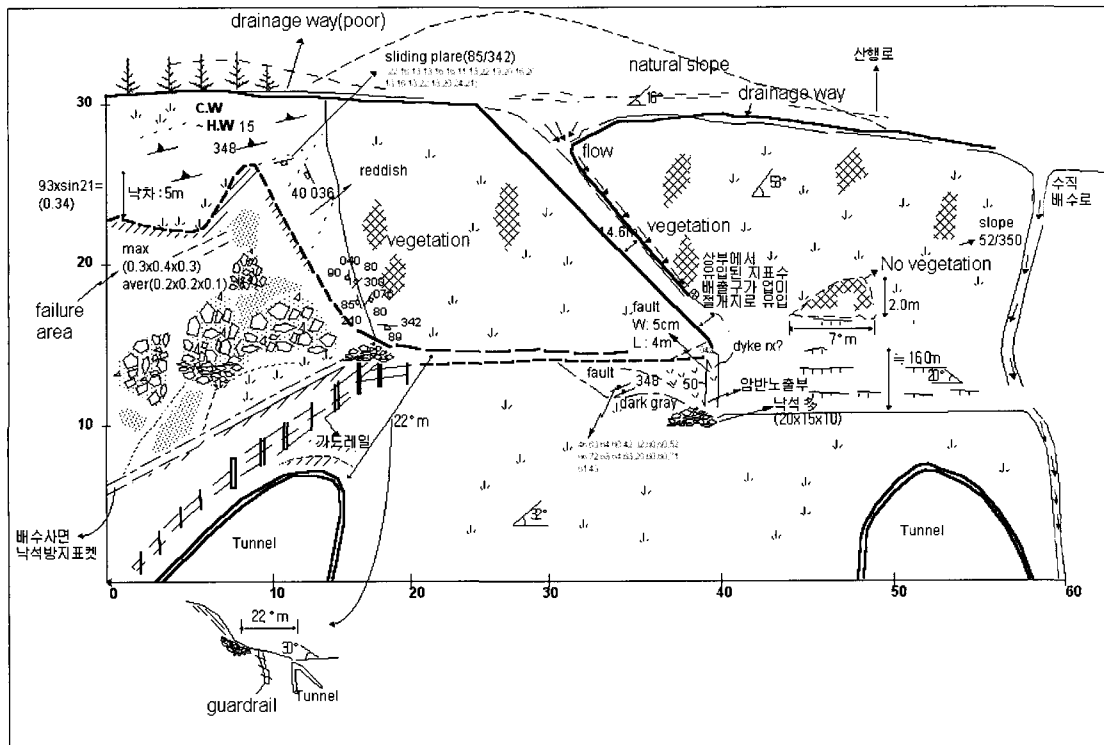


Fig. 3. Face mapping of the S-1 area.

터널 갱구부 붕괴 사면의 안정성 해석 및 보강공법에 관한 연구 - 수안보 온천 1, 2터널 붕괴 현장을 중심으로

S-2지구 현장 조사

S-2지구의 경우, 기반암이 노출되어 있는 2-A 영역은 사면 내에 발달하는 불연속면을 따라 일부가 붕괴가 발생한 상태이다(Fig. 5). 또한 2-B 영역은 현장 조사시 인장균열이 4매 발달하고 있는 위험한 상태이다. 2-C영역은 소규모 낙석이 발생한 상태이나 붕괴부 하단에 5.0m의 점검로와 도



Fig. 5. Slope failure site of 2-A zone in S-2 area.

랑(ditch)이 형성되어 도로로의 낙석 유입은 일부 막을 수 있는 상황이다. 2-A영역의 경우 사면을 구성하는 기반암반이 노출되어 있으며 변성니질 기원의 점판암으로 구성되어 있다. 암반에 주로 발달하는 불연속면은 변성암 엽리방향인 55/145 (이하 set1), 사면 내의 단층 발달방향 50/070(이하 set2), 그 외에 주로 70/130, 85/095 방향의 절리들이 발달하고 있다.

2-B영역의 경우 규칙적인 불연속면이 발달하고 있으며 지표수의 용출현상이 두드러지는 것이 특징이다. 본 구간은 식생공이 시공되어 법면이 식생으로 덮여있으나 식생사이로 인장균열이 관찰되며, 연장은 3m이상, 폭은 0.2~0.3m이다. 2-C영역의 경우는 총연장이 50m이며, 20~45m 구간에는 썩기과파가 발생되어 소규모의 낙석이 집괴되어 있다. 낙석의 평균크기는 0.1m×0.1m×0.1m이며, 총 낙석량은 약 50m³이다. S-2지구의 현장 조사 현황도는 다음 Fig. 6과 같다.

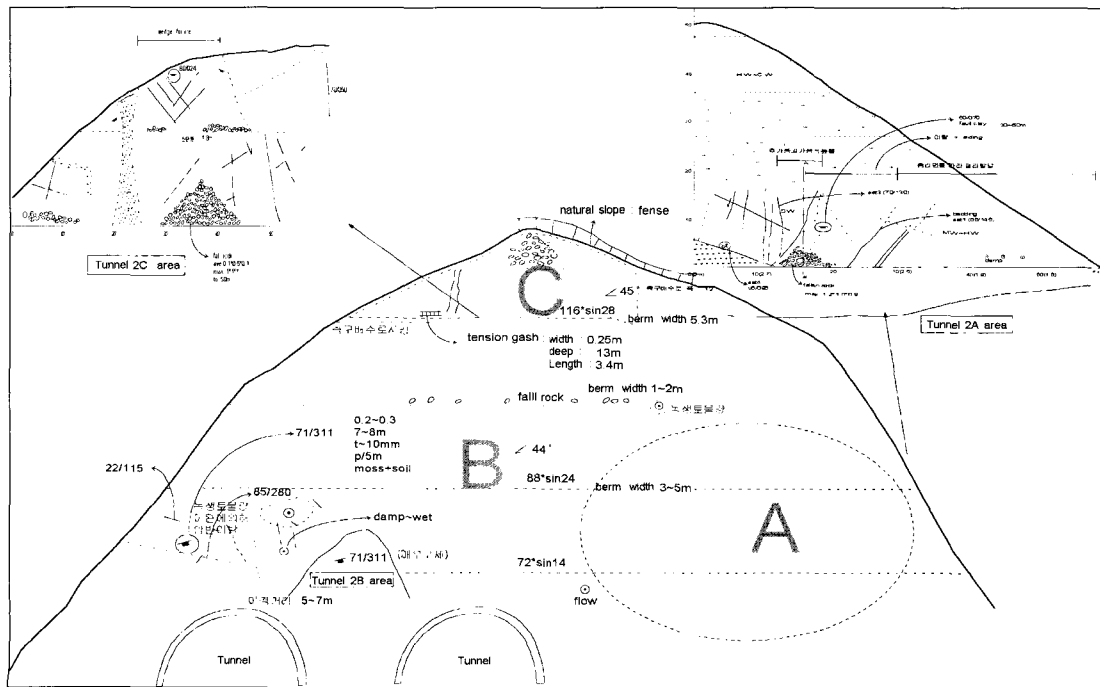


Fig. 6. Face mapping of the S-2 area.

지반강도 정수 결정

지반의 강도 정수 결정 방법에 대하여 많은 연구가 수행되었다(Hoek and Brown, 1980; Trueman, 1988; Bieniawski, 1989). 안정성 해석시 중요한 입력강도정수 산정은 현장의 여건 및 채취 시료의 상태에 따라 다양하게 나타날 수 있으며 이에 따른 안정성 해석 결과도 상이하게 나타낼 수 있다. 한계평형 해석에서 필요한 입력변수인 지반의 점착력과 내부마찰각에 대하여는 현장 조사자료를 근거로 산출하였다. 또한, 붕괴사면에 대하여 붕괴 형상과 관련 자료를 토대로 역해석을 실시하고 지반 정수값을 산정하였다.

RMR을 이용한 강도정수 결정

현장에서 조사한 불연속면 자료를 이용하여 압

반의 등급을 분류하였다. 일축압축강도는 현장에서 슈미트 햄머를 이용하여 일축압축강도치로 환산하여 적용하였으며 RQD값은 현장 조사시 스캔라인을 설정하여 불연속면의 빈도수를 측정하였다. 또한, RMR분류를 이용하여 S-1, S-2지구의 지반강도정수를 경험식을 통하여 산출하였다. 이때 사용한 불연속면은 주절리 판명되는 85/342와 55/145를 사용하였다. 점착력(c)과 내부마찰각(ϕ) 도출식은 다음 식 3.1과 3.2와 같다.

• Bieniawski & Orr(1976)
 $c = 0.5 \cdot \text{RMR} \text{ (t/m}^2\text{)}$ (3.1)

• Trueman(1988)
 $\phi = 0.5 \cdot (\text{RMR}) + 5 \text{ (}^\circ\text{)}$ (3.2)

상기 Table 4의 결과에서 나타나듯이 RMR값과

Table 4. RMR and SMR computation.

	Parameter	S-1area		S-2area		
		state	rating	state	rating	
RMR	Uniaxial compressive strength (MPa)	41.5	4.3	131.3	10.4	
	RQD(%)	69.9	14	72.1	14.4	
	Spacing of discontinuities(m)	0.2	8.2	0.2	8.2	
	Condition of discontinuities	Persistence(m)	1.0	6.0	10.0	0.6
		Aperture(mm)	5.0	1.0	5.0	1.0
		Roughness	sm	1.0	slicken-sided	0.0
		Infilling	soft	2.0	soft	2.0
		Weathering	CW	0.0	SW	5.0
	Groundwater		wet	7.0	wet	7.0
total		III:fair	43.5	III:fair	48.7	
SMR	F1 : parallelism between joint and slope face strikes	8	0.85	81	0.15	
	F2 : joint dip angle	85	1	55	1	
	F3 : relationship between the slope face and joint dip	33	0	3	-6	
	F4 : excavation method	normal blasting	0	normal blasting	0	
SMR description	RMR+ (F1×F2×F3)+ F4	III:fair	43.5	III:fair	47.8	

SRM값은 S-1지구에서 43.5로 나타났으며, S-2지구에서는 각각 48.7과 47.8로 공히 III등급에 해당하는 양호한 상태를 나타내고 있다. RMR을 이용 식 3.1과 3.2의 경험식에 대입하여 점착력과 내부마찰각을 구한 결과 및 일반적인 변성암석의 지반강도 정수는 Table 5와 같다(Hoek & Bray, 1981).

Table 5. Strength parameter calculated by RMR.

Site	RMR	SMR	c (t/m ²)	φ (°)
S-1	43.5 (III : Fair)	43.5 (III : Fair)	21.7	27
S-2	48.7 (III : Fair)	47.8 (III : Fair)	24.8	29
Metasedimentary rock	-	-	3~74	25~30

역해석을 이용한 강도정수 결정

S-1지구와 S-2지구는 현재 붕괴가 발생한 사실을 역으로 해석하여 파괴시의 안전율을 1.0으로 가정하여 지반의 강도정수를 산정하였다. S-1지구는 실제 평면 파괴가 발생한 붕괴단면을 횡단 측량하여 대표단면으로 설정하였다. S-2지구는 터널 직상부의 단면을 선정하여 역해석을 실시하였다. 해석시 집중호우에 의하여 사면이 붕괴된 사실을 토대로 하여 건기와 우기로 구분하였다. 우기시에 대한 해석은 사면이 완전히 포화되었을 경우를 가정하여 만수위 상태로 가정하였다. 점착력의 범위는 2에서 4t/m² 까지 0.5t/m² 씩 변화를 주어 해석하였으며 내부마찰각은 25°에서 30° 까지 변화

Table 6. Strength parameter used a stability analysis.

Item	Empirical formula	Back analysis
S-1	Cohesion(t/m ²)	21.7
	Friction angle(°)	27
S-2	Cohesion(t/m ²)	24.8
	Friction angle(°)	29

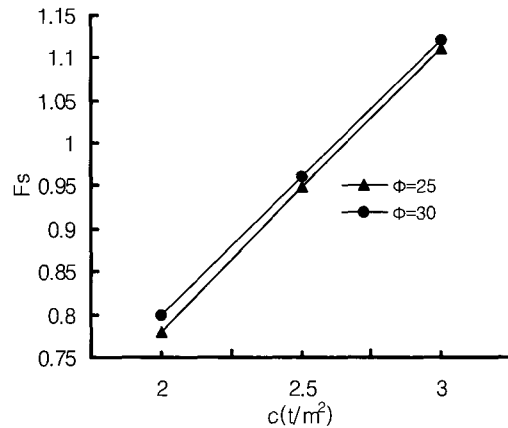


Fig. 7. Relationship of safety factor according to internal friction angle in S-1 area.

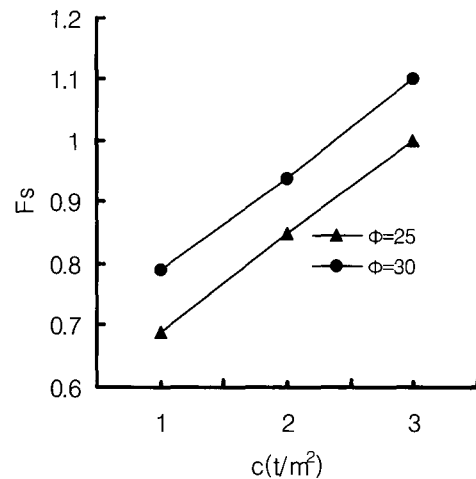


Fig. 8. Relationship of safety factor according to internal friction angle in S-2 area.

하면서 안전율을 계산하였다(Fig. 7과 8). 상기 해석 결과 S-1지구와 S-2지구의 강도정수값은 다음 Table 6과 같이 도출이 되었다. 이는 현장 조사 후 경험식에 의하여 산출된 값과는 다소 차이가 있다. 이에 대한 연구는 지속적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 사면의 안정성 확보를 위하여 역해석으로 구한 정수값을 적용하였다.

안정성 해석

사면 안정성 해석을 위하여 본 연구에서는 두 가지의 방법으로 사면 안정성을 검토하였다. 평사투영법과 한계평형해석법을 이용하여 안정성 해석을 실시하였다.

평사투영법에 의한 안정성 해석

S-1지구와 S-2지구 현장에서 수집한 불연속면의 자료를 토대로 Dips 5.0을 이용한 평사투영해석을 실시하였다. 평사투영해석은 썩기과파괴와 평면과파괴 및 전도과파괴의 가능성을 각각 검토하였다. Fig. 9에서 12까지는 평사투영법해석 결과이다.

평사투영해석 결과 S-1지구는 썩기과파괴와 평면과파괴의 발생가능성이 높은 불안정한 상태를 나타내고 있다. S-2지구는 평면과파괴의 발생가능성이

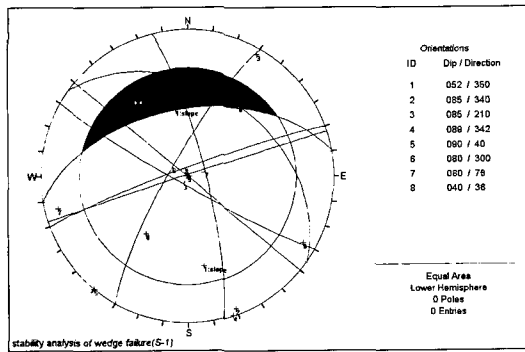


Fig. 9. The stability analysis of wedge failure in S-1 area(unstable).

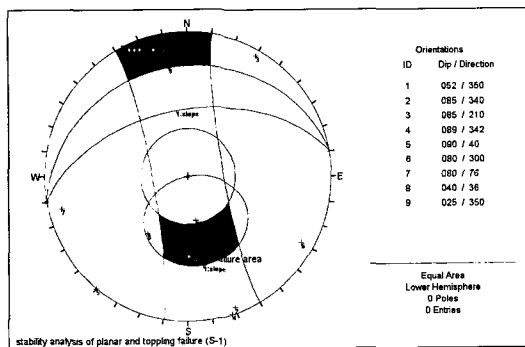


Fig. 10. The stability analysis of planner and toppling failure in S-1 area(unstable).

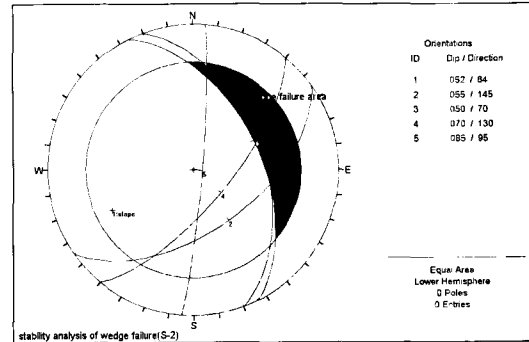


Fig. 11. The stability analysis of wedge failure in S-2 area(unstable).

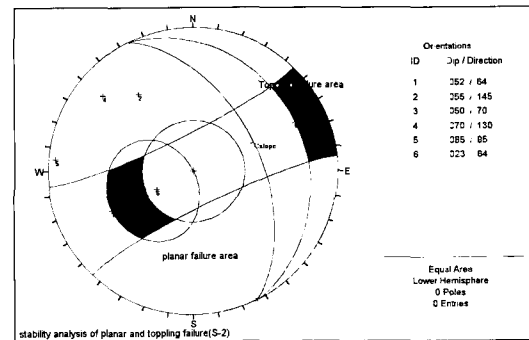


Fig. 12. The stability analysis of planner and toppling failure in S-2 area(unstable).

가장 높은 것으로 분석되었다. 현장 조사자료와 종합적으로 분석한 결과 평면과파괴외 소규모 절리들의 조우에 의한 단일한 파괴 형태가 아닌 복합적인 파괴양상을 나타내고 있다. 또한, 불안정 상태를 정량적으로 나타내기 위하여 한계평형해석을 실시하여 안전율을 산출하였다.

한계평형해석을 이용한 안정성 해석

본 연구에서는 한계평형 상태에서 지반과파괴면을 고려하여 검토하는 TALREN97을 사용하였다. 본 프로그램은 지반을 별개 또는 요소의 수직 절편으로 나누어 정적인 평형상태에 대하여 해석하며, Bishop 절편법을 이용하여 파괴 형상을 따라 비원호 파괴로 해석하였다. 터널 사면의 특수성 및 안전성을 고려하여 지반강도정수를 결정하였으며 이를 이용하여 건기시의 안정성을 검토하였다. 안정

터널 갱구부 붕괴 사면의 안정성 해석 및 보강공법에 관한 연구 - 수안보 온천 1, 2터널 붕괴 현장을 중심으로

성 해석 결과 S-1지구와 S-2지구의 안전율은 1.49, 1.53이며 그 결과는 Fig. 13과 14와 같다.

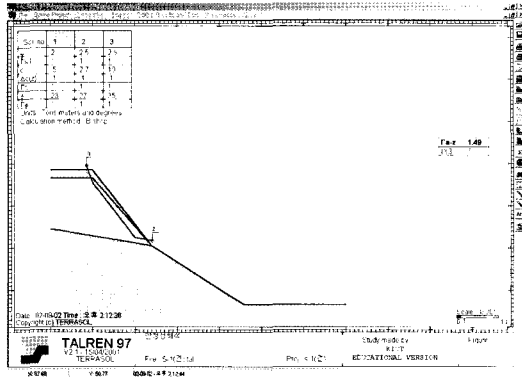


Fig. 13. The stability analysis before reinforcement in S-1 area.

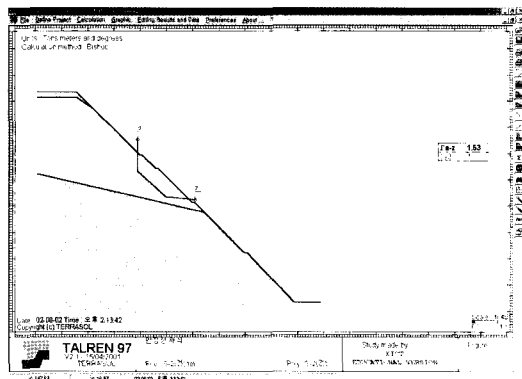


Fig. 14. The stability analysis before reinforcement in S-2 area.

대책방안에 대한 검토

대책공법 수립시 고려해야할 사항으로 먼저 절개면의 안정성 확보가 중요한 관점이나 이외에도 현장 여건에 따른 시공성 및 시공후 유지관리가 용이한 대책공법 선정이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 시공 가능성 및 관리측면에 중점을 두고 공법을 비교 검토하여 효율적인 대책공법을 제시하였다. 특히, 대책방안 검토시 우기시는 불확실한 지반정수값을 보완하기 위하여 만수위로 추정하여 해석하였다.

S-1지구 대책방안

S-1지구의 경우 터널 직상부에서 붕괴가 발생하였으며 터널 출구부의 수직고 5.0m이내에 붕괴부 선단(toe)이 형성되어 있어 대책공법의 설정이 용이하지 않은 실정이다. 본 지구에 대한 대책공법으로는 록볼트(rock bolt) 및 록앵커(rock anchor)에 의하여 안정성을 확보하기에는 터널 입출구 선단부분의 교란으로 인하여 터널의 안정성에 영향이 끼칠 것으로 예상된다.

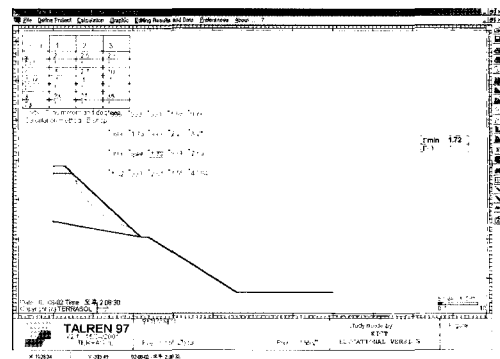


Fig. 15. The stability analysis after reinforcement in S-1 area(dry).

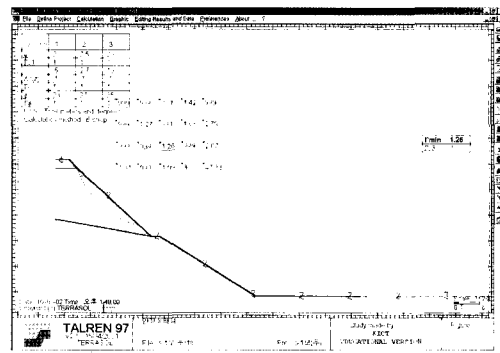


Fig. 16. The stability analysis after reinforcement in S-1 area(wet).

S-1지구에 대한 대책방안으로 사면 경사도 완화공법을 제시한다. 시공 전 사면의 경사도가 평균 1 : 1.0 (45°)인 것을 시공 후 1 : 1.2 (40°)로 절취할 것을 제안한다. 절취 후 한계평형해석에 의한 사면의 안정성에 대한 검토를 실시한 결과

건기시와 우기시로 구분할 경우, 안전율이 1.72, 1.26으로 나타났으며 도로설계기준인 1.5와 1.2에 각각 부합되는 것으로 나타났다. 사면안정화 후 안정해석의 결과를 나타내면 Fig. 15, 16과 같다.

S-2지구 대책방안

S-2지구의 경우, 2-A영역은 사면의 방향(52/064)과 옆리면(50/070)의 방향이 평행한 평면 파괴 형태의 암반슬라이딩이 발생하였으며 추가 붕괴 가능성이 높은 것으로 나타났다. 본 영역에 대한 대책으로 사면전면부에 콘크리트 버트리스(concrete buttress counterfort)를 설치하여 사면의 안정을 도모할 것을 제안한다. 버트리스 설치 후 네일링(nailing)공법을 병행하여 시공함으로 토압에 의한 전도를 방지할 것을 제안한다. 2-B영역의 경우, 인장균열이 수매 발달하고 있으며 수직고가 83m에 해당되는 대절토사면으로 절취시 물량 및 공사비의 과다소요가 예상되어 보강공법에 의한 안정성 검토를 시도하였다. 보강공법으로 록앵커를 고려하여 검토하였다. 현장조사결과에서 나타난 인장균열을 고려하여 사면의 안전율은 인장균열이 발달하는 상황에서 건기시와 우기시로 나누어 식 5.1과 5.2에 의하여 안전율을 구하였으며 각각 1.11과 0.97로 나타났으며 각 식에 대입한 입력값은 Table 7과 같다.

Table 7. Input data for slope safety factor in slope existed tension crack.

Item	Sign	Input data	Item	Sign	Input data
Cohesion	c	2.8	failure ground weight	W	987.0
failure inclination	$\phi_p(^{\circ})$	40	buoyancy power	U	155.1
failure area	A	102.6	hydraulic power	V	4.6

$$F_s = \left(\frac{cA}{W \times \sin \phi_p} \right) + \cot \phi_p \times \tan \phi \quad (5.1)$$

$$F_s = \frac{(cA + W \cos \phi_p - U - V \sin \phi_p) \tan \phi}{W \sin \phi_p + V \cos \phi_p} \quad (5.2)$$

여기서, F_s : 안전율, c : 점착력, A : 단면적, W : 활동압괴의 중량, ϕ_p : 활동면의 각도, ϕ : 내부마찰각, U : 활동면에서 발생하는 부양력, V : 인장균열부에서 발생하는 수력으로 정의 한다 (Hoek, E. & Bray, J., 1981). 사면 안전율을 향상시키기 위하여 사면에 록앵커를 시공한 상태에서 안전율을 산출하였다. 안정성 해석은 건기시와 우기시로 나누어 해석하였으며 록앵커체는 PC강성 $\phi=9.5$, 7가닥형 총길이 12m로 가정하였다. 안전율 1.5로 설정할 경우, 앵커 본당 42.8Tonf이 필요하다.

안정성 해석은 록앵커체의 간격을 조정하면서 설치간격별 안정성 검토를 실시하였다. Table 8은 록앵커(rock anchor)의 경제적 시공을 위하여 설치간격별 안정성 검토결과를 요약한 것이다. 본 현장의 경우에는 2.5m×2.5m 간격으로 설치할 경우, 안정성 및 경제성에서 가장 효율적인 것으로 판단되었다.

Table 8. The safety factor according to rock anchor interval.

C.T.C.(m)	Safety factor		Remark
	Dry	Wet	
1.5×1.5	3.52	2.62	
2.0×2.0	2.69	1.94	
2.5×2.5	2.39	1.70	apply
3.0×3.0	2.05	1.41	

Fig. 17과 18은 건기시와 우기시 안정성 해석의 결과 중 2.5m×2.5m 간격으로 설치할 경우의 결과를 나타낸 것이다.

2-C영역의 경우, 대규모의 사면 붕괴는 발생하지 않을 것으로 판단되나 일부 소규모의 낙석은 발생할 가능성을 배제할 수 없다. 그러므로, 법면 하부에 5.0m 여유의 점검모가 설치되어 있는 상황을 고려하여 결착식 낙석방지망을 설치하여 일부 소규모의 낙석을 도로로 유입되는 것을 방지하는 것이 타당하리라 사료된다.

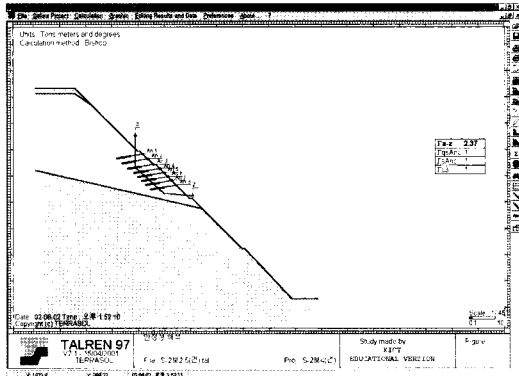


Fig. 17. The stability analysis after reinforcement in S-2 area(dry).

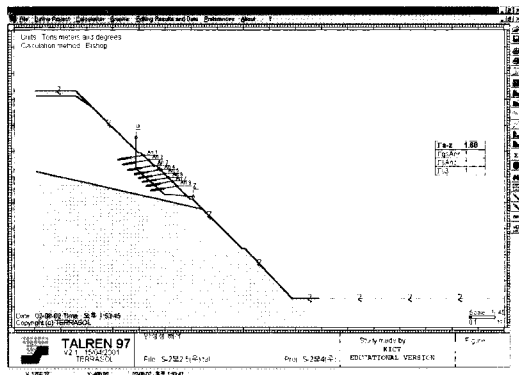


Fig. 18. The stability analysis after reinforcement in S-2 area(wet).

토의 및 결론

시공중인 사면이 아닌 운용중인 도로터널 갱구 사면의 붕괴는 조사 및 대책공법 선정의 제약이 많다. 본 연구에서는 붕괴된 터널 갱구부 사면을 대상으로 현장 조사를 근거로 하여 안정성 해석과 영구적인 대책공법 제시를 목적으로 하여 시도되었다. S-1지구는 현재 운용중인 터널의 직상부가 붕괴가 발생한 것으로 보강공법 중 록앵커 및 록볼트 시공시 천공각을 20°에서 25°로 설정할 경우, 터널 직상부의 높이가 5m 내외로 시공중과 시공후 터널에 미치는 진동으로 터널 라이닝(lining)의 균열발생 및 누수현상이 추가로 발생할

가능성이 높은 것으로 판단된다. 본 연구에서는 강재를 이용한 보강공법으로 인한 피해를 제거하기 위하여 파괴면을 따라 발생한 활동면을 토대로 절취를 하여 위험요소를 제거하는 방안을 제안하였다.

S-2지구의 경우, 2-A영역은 제 1소단 하부에서 낙석이 발생되고 있으며 암반의 활동면이 노출이 되어 있는 상태로 추가 낙석의 위험성이 있는 상태이다. 본 영역은 현재 도로와 사면과의 충분한 이격거리가 확보되어 있는 상태이며 추가 암괴의 낙석으로 인한 에너지를 감해줄 수 있는 방안이 검토되었다. 2-B영역의 경우 터널 갱구부의 직상부이며, 인장균열이 수매 발달하는 상황이며 인장균열 내에 강우로 인한 지표수의 유입으로 수압이 작용하게 될 경우 사면의 붕괴를 충분히 예상할 수 있는 상황이다. 본 영역은 사면형상이 깎자형으로 형성되어 절취가 불가능하며 터널의 직상부와 사면과의 거리가 10m미만으로 터널 상부에 인공구조물을 설치하기가 어려운 상황이다. 따라서, 본 영역은 강재에 의한 보강공법을 채택하여 사면 안전율을 향상시키는 방안을 제시하였다. 2-C영역의 경우, 법면에 일부 이완된 소규모 낙석이 존재하더라도 낙석방지울타리 및 소단이 형성이 되어 있어 소규모 낙석이 발생하더라도 도로로 유입되지 않을 것으로 사료된다.

최근 들어 일반 국도의 고속화 정책으로 인하여 신설국도의 증가와 더불어 터널 및 사면이 대형화 되고 있는 실정에서 최근 발생한 터널 갱구 사면의 붕괴 사례를 통하여 사면 안정성을 검토하고 항구적인 대책공법안을 제시하였다. 국도 확장공사와 더불어 터널 갱구사면의 안정성 검토와 달리 운행중인 터널 갱구 사면의 검토 사례는 많지 않은 실정에서 터널 사면의 특이성과 시공의 특수성을 감안하면서 현장 조사에서 대책방안 제시까지 수행되었다.

터널사면의 경우, 일반 절토사면과 달리 완공후 유지보수의 제약성이 높은 점을 미루어 터널사면의 경우 설계단계에서 사면의 안전율을 상향조정하는 방안을 검토하는 것이 앞으로의 과제라 생각한다.

참 고 문 헌

김정호, 2001, "터널 갱구부의 사면 보강 설계", 한국지반공학회/2001 사면안정학술발표회/사면안정조사 및 대책, pp. 135~149.

건설교통부 익산지방국토관리청(1998), 성전-영암 간 국도 확포장 공사 종합보고서.

한국지질자원연구원, 2001, "경부고속전철 0-0공구 송라터널 종점부 절토사면 안정성 분석 및 대책수립, 두산중공업, p. 88.

Bieniawski, Z.T., 1989, "Engineering rock mass classification, John Wiley & Sons, Inc., N.Y.

Bieniawski, Z.T. and Orr, O.M., 1976, Rapid site appraisal for dam foundations by the geomechanics classification, Proc. 12th Cong. Large Dams, ICOLD, Mexico City, pp.483~501.

Trueman, R., 1988, An evaluation of strata support techniques in dual life gate road, Ph.D, Thesis, Univ. of Wales.

Hoek, E. & Bray, J., 1981, "Rock Slope Engineering", Revised Third Edition, Institute of Mining and Metallurgy, London.

Hoek, E. and Brown, E.T., 1980, "Underground Excavations in Rock", The Institution of Mining and Metallurgy, London.

투 고 일 2002년 8월 13일
 심 사 일 2002년 8월 14일
 심사완료일 2002년 11월 14일

유기정

한국건설기술연구원 토목연구부
 411-712 경기도 고양시 일산구 대화동 2311
 Tel : 031-910-0227
 e-mail : kjyoo@kict.re.kr

구호본

한국건설기술연구원 토목연구부
 경기도 고양시 일산구 대화동 2311번지
 Tel : 031-9100-217
 e-mail : hbkoo@kict.re.kr

백 용

한국건설기술연구원 토목연구부
 경기도 고양시 일산구 대화동 2311번지
 Tel : 031-9100-228
 e-mail : baek44@kict.re.kr